◎農試所／徐武煥・陳健忠

誘蟲器計數蟲數之應用 以東方果實蠅為例

前言

族群 (population) 從演化的觀點來看是一種演化的單位；而從生態學的觀點來看是一種生物群落 (community) 組成的單位。在生態學的研究中，常以族群密度 (population density) 或族群大小 (population size) 來描述。族群密度可用來探討動、植物或微生物等在生態環境裡單位面積 (或空間) 內出現的數量，並可作為定義及推估族群模式 (pattern)、模型 (model) 及動態 (dynamics) 的重要參數。確實掌握棲所中發生的害蟲蟲數，才有辦法發展早期預警系統，並作為界定危害範圍、風險評估、以及族群發生趨勢之參考。經由田間調查所得的蟲數資料估算族群密度，進而研究誘得蟲數與族群密度之間的關聯，瞭解族群動態並發展相關的模型，可以應用於害蟲綜合管理與決策支援。

族群密度通常無法直接由田間調查計數的數值獲得，必須經過後續的演算才能得到 (Petrovskii *et al*., 2012)。族群密度的計算看似簡單，但要從抽樣的數值再計算出族群密度仍需具備相當程度的統計分析技巧，例如抽樣方法 (如逢機抽樣、分層逢機抽樣或系統化抽樣等) 需先經過試驗設計方能使該抽樣方法符合數理統計理論；或是採用既有的抽樣的方法，再經由相關檢定確認其符合數理統計條件，才能用統計方法推估其理論上的絕對數量，進而除以該調查區域的面積 (或空間)，得到其族群密度。由於估算程序相當煩瑣，因此有些研究報告在討論害蟲的族群密度時，是用誘捕到的蟲數或是每個誘蟲器於單位時間 (每天或每旬) 內誘捕到的蟲數等屬於相對計數 (related count) 的數值 (Petrovskii *et al*., 2012)，直接加以比較。嚴格來說，數量與密度是有區別的，這些數值僅能表示數量高低的相對密度 (孫等，1997)，並且容易受到外界因子 (如溫度等) 之干擾，想要進一步解釋或跟其他文獻比較也較困難。

東方果實蠅，學名 *Bactrocera dorsalis* (Hendel)，俗稱蜂仔，為我國防治的重要害蟲之一。在臺灣，果園如果遭到蜂仔的肆虐，收成肯定不好。很多果實都可當

作峰仔的寄主，如芭樂、芒果、柑桔等。如果果園管理沒做好，將壞掉或沒經濟價值的被害果隨地棄置，則棄置的水果恰可養出大量的蜂仔，再回頭攻擊果樹上的果實。目前農民常以甲基丁香油加乃力松的滅雄法誘殺雄蟲，果實套袋防止被鋒仔叮咬，再加上施藥防治。但是如果防治時雄蠅中有幾隻漏網之魚，則與雌蠅交尾後，一隻雌蠅即可產下多達數百個卵，族群密度還是會快速竄升。密度高時，縱使頻頻施藥防治，如果沒有做到區域共同防治，則效果畢竟有限，且防不勝防。東方果實蠅的寄主水果種類眾多且很難防治，每年造成臺灣水果產業極大的損失，本文以臺灣慣用之誘蟲器調查東方果實蠅的蟲數資料為例，進行計數與應用方面之探討，期望有助於提升果實蠅的防治成效。

以誘蟲器計數昆蟲的方式

誘蟲器 (trap) 或稱為陷阱，常於昆蟲的生態調查中做為計數的工具，使用上相當簡單及方便。誘蟲器中需要加上性費洛蒙或是誘引劑等才能得到誘引的效

表一、作為害蟲綜合管理 (IPM) 決策用之幾種抽樣方法比較 (Binns & Nyrop, 1992)

抽樣方法 Method	獲得之結果 Result	抽樣單位選擇 Selection of sample units	抽樣成本 Sampling cost	執行的複雜度 Complexity of implementation
兩層級分類法 Two level classification	$m^{a} \le m_t^{b}$或 m>mt	SRS[c]	最低	容易
三層級分類法 Three level classification	$m \le m_{t,}$ $m_t < m \le m_t$ 或$m > m_{2t}$	SRS	低	中等
強度可變法 Variable intensity	$m \le m_{t,}$ $m > m_{2t}$或$m \pm d^{e}$	MSS[d]	高	最困難
估算法 Estimation	$m \pm d$	SRS	最高	容易

註：a：估計平均值
t^{b}：閥值
c：簡單隨機抽樣 (Simple random sample)
d：分段抽樣 (Multistage sample)
e：特定值

果，例如誘引東方果實蠅雄蠅的甲基丁香油 (methyl eugenol)，亦稱為副費洛蒙 (parapheromone)，即是一種強烈的誘引劑。果實本身 (如木瓜、番石榴或番荔枝等)(劉等人，1996) 或其萃取物的味道，經由嗅覺輸入 (olfactory input) 亦可誘惑雌性蜂仔，展現特定的誘引反應與行為特性。由於各種生物的習性不同，在試驗區域內設置誘蟲器進行抽樣時，應該如何配置 (例如配置之位置在哪、相隔距離多遠及數量多寡等) 才能得到有代表性及有效的實驗資料，是值得研究人員進一步思考的問題。以傳統誘捕 (目視、掃網或燈光誘集等) 方式調查田間蟲數時，往往需要耗費很多人力、時間及成本。抽樣方法不同時，操作複雜度不同，亦會影響害蟲綜合管理 (integrated pest management, IPM) 成本的高低 (如上頁表一) (Binns & Nyrop, 1992)。

瞭解族群分布有助於蟲數抽樣計數時選用適當之抽樣方法，以計算其絕對總數及族群密度。對於低移動性的生物採用定點抽樣；但是對於高移動性生物要直接統計其個體數很困難，此時可採用標記再捕法 (mark-release-recapture method) (Shelly & Edu, 2010)。在夏威夷、日本及臺灣等地，研究人員曾用標記再捕法探討東方果實蠅之遷移活動，然而其應用仍有空間上的限制 (Liu et al., 2007)。其方法為先在田間誘捕一部份的個體進行標記，然後放回田間，經過一定的期間後進行重捕。假定重捕抽樣數中之標記比例和區域總數與總標記的比例相等，捕獲蟲數即可用來估計樣地中被調查動物的總數 (孫等，1997)。計算個體總數 N 之公式為

$$N = \frac{M \times n}{m}$$

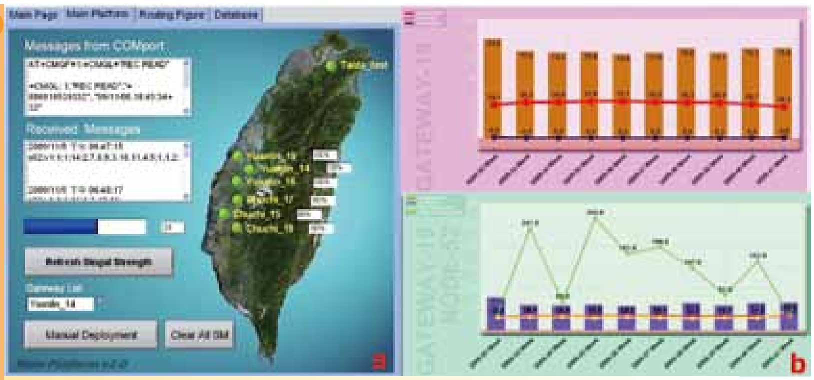
其中 M 為標記蟲數，n 為再捕捉之蟲數，m 為再捕捉之標記蟲數。

我國以誘蟲器計數東方果實蠅蟲數的方式

我國自民國八十三年起建立「果實蠅發生密度調查系統」，抽樣點包括各縣市政府、農會及試驗改良場所等單位之 70 餘處監測站，各監測站每旬 (10天) 會針對 4 種蔬果害蟲回報監測計數資料給農業試驗所，農業試驗所再將資料彙整後定期發布旬報。旬報內容涵括監測數量較高之區域、可能危害之水果種類、是否達到警戒防治水平、數量大幅上升之可能成因及其防治之建議等，其中之平均密度是以每個誘蟲器 (陷阱) 每旬多少蟲數的方式呈現。

電視廣告說「電腦也會選土豆!」，隨著社會的進步，許多做事的方式或利用的儀器、設備及技術也會隨著進步。農業試驗所農業工程組、應用動物組、國立臺灣大學與臺南區農業改良場等研究團隊於民國九十八年起開始以無線感測器網路技術 (Wireless Sensor Network,

WSN)，透過區域監測網及後端平臺實地進行區域性的東方果實蠅監測，以誘蟲器中之甲基丁香油誘引東方果實蠅，採用自動化的方式計數蟲數，當東方果實蠅通過兩道紅外線感測之蟲道後完成計數。農業試驗所並於去年(二〇一二) 八月份舉辦了資通訊應用於蜂仔計數的示範觀摩活動，想藉由此次活動的舉辦將此「電腦也會算蜂仔數量」的新技術介紹給農民知悉。這個系統可即時 (每30 分鐘一筆) 地將計數資料經由田間伺服器回傳並彙集到後端處理平臺的資料庫，資料相當密集，其蒐集之數據可方便作為東方果實蠅生態行為調查之用。例如，晚上果園內會有蜂仔出沒嗎？如果是以前須以傳統方式在果園內觀察抽樣，但透過本系統監測即可知道答案是「不會」，因為經由本系統監測數據顯示，蜂仔只在白天出來活動，此現象也印證了部分文獻說到「蜂仔成蟲多在白晝活動」說法。



圖說：
1. 自動化系統計數與人工計數比較調查
2. 自動化計數系統之控制箱與誘蟲器
3. 東方果實蠅區域監測網後端平臺資料分析及線上查詢系統 (a. LabVIEW 人機頁面、b. 線上查詢頁面)

計數蟲數之應用

一、直接推估其族群密度

在實際應用的情況下，很多族群密度資料都是根據誘捕器的計數資料來計算。問題是，一旦蒐集了誘捕器的計數資料後，許多研究人員常常不是很清楚如何計算出族群密度。故 Petrovskii 等人 (2012) 嘗試利用許多理論，例如假設昆蟲運動模式是依據布朗運動 (Brownian motion) 的隨機特性，經由以個體為基礎 (individual-based) 之運動模式統計昆蟲的運動模式資料，並以誘蟲器外圍邊界層 (boundary layer) 計算其通量 (flux) 的方式比較圓形及正方形誘蟲器計數的差異，再以運動模式資料與試驗區域均值 (mean-field) 擴散模式比較其差異，試圖找到能將誘蟲器計數的數據直接換算成族群密度的證明。目前國內對東方果實蠅的自動計數資料亦為利用誘蟲器得到之相對資料，但是因為資料密集，對於未來以計數方式調查研究東方果實蠅之生態及習性應有相當大的幫助。而 Petrovskii 等人 (2012) 以誘蟲器計數之數值直接進行族群密度推估的模式，雖然受到許多外來不確定因素的影響，但此種方式應仍是未來努力的方向之一。

圖說：
4. 國內自行研發整組之東方果實蠅自動計數器
5. 國內常用之麥氏誘蟲器誘蟲後之內部情況

二、族群模型之應用

數學模型可用一個或一組方程式代表一個系統的行為。其模式可作為農業研究的工具、用來協助解釋驗證試驗的結果及可作為農業栽培者的工具 (呂，1997)。因現今資通訊技術蓬勃發展，其模型並可當成專家系統或支援決策系統之判斷、管理或分析的工具。目前國內使用之自動計數系統其數據經後端處理平臺處理後可得到區域蟲數分布等高線圖，瞭解到區域監測網內的熱點 (即蜂仔計數較高的點)。熱點常常與週遭的環境相關，例如周遭如果有雜樹林，則常見果園靠近雜樹林的附近為蜂仔的熱點，此熱點即可作為蜂仔防治之重要參考點。國立臺灣大學江昭皚教授研究團隊並利用其數據資料庫建立東方果實蠅之早期預警系統。除此之外，此項資料之建立也有助於東方果實蠅

族群密度之計算、族群模型及蟲害發生預測模型等之建立。

三、細胞自動機 (cellular automata, CA) 數學演算法之應用

全球氣候變遷加劇，已明顯干擾生物的活動與棲所，因此在建立東方果實蠅的地理分布和族群動態的影響模型時，將需面對一個具有許多因素相互作用的非線性問題。一般偏微分方程式往往難以包含相關之參數，故近年來有學者導入細胞自動機 (cellular automata; CA) 數學演算法於昆蟲之研究。該方法是近年來空間研究領域一種新穎且發展快速的模擬工具，其組成元素包括有網格、網格型態、鄰近空間及演化規則等四項，利用網格空間之近鄰性，模擬其空間的自動演化過程，故在生態模擬等複雜的非線性或二維的研究議題上非常適合。利用細胞自動機建立之模型屬於空間機制的預測模型之一，如以個體為基礎模擬並進行複雜的預測模式計算，可使模擬得到的研究結果更接近現實的狀態。

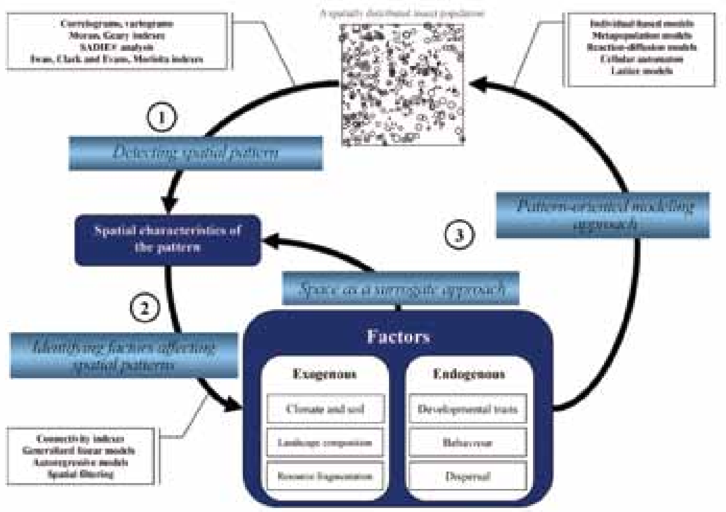
四、地理資訊系統之導入與應用

利用 GIS 軟體及網路技術，可以開發線上系統作為分析與查詢之用，對於暨

圖說：

6. 麥氏誘蟲器誘蟲時之外觀情況
7. 將計數等資料由自動化計數系統回傳至後端平臺之伺服器
8. 自動化計數系統誘蟲器誘蟲後之內部情況

有之調查資料，初步提供小區域之面化作業，將來並可提供遠端診斷、線上諮詢、預測、決策等東方果實蠅防治的服務平臺。以每 30 分鐘每個誘捕器都會對應到一筆調查資料為例，透過東方果實蠅習性等資料的分析、分布的預測、抽樣方法的選擇與 GIS 軟體的應用，再利用 ArcGIS 等軟體進行資料的等高線分析，將可提供使用者查詢果實蠅分布點之面化及預測等相關資訊。例如，系統除可提供統計資料下載外，也可提供親和性的區域面化的資料供查詢。使用者只要利用網際網路，在 Google map 圖面上點選所在位置，即可經由地理資訊系統的運算，得到查詢地點即時預估的東方果實蠅資訊。使用者可利用長期歷史監測資料及事先建立之預測模型，透過統計分析的方式，系統會從過去歷史資料中計算將來可能發生之蟲害機率等，進而能以電子郵件及簡訊等方式通知使用者加強其防治作業。



↑圖9. 了解生物體空間異質性和有關之方法類型時所需進行之步驟示意圖 (資料來源：Vinatier等人, 2011)

五、遙測 (remote sensing / telemetry) 技術之應用

隨著電腦之快速發展及廣泛之應用，衛星遙測資訊已陸續被用於昆蟲調查之用途。遙測取決於目標和傳感器之間的傳播的電磁或聲波能量，在電磁光譜中，從 UV、可見光到近紅外光、遠紅外光、微波和無線電頻率等都已應用在昆蟲學研究上 (Reynolds & Riley, 2002)。電磁遙測技術已用來監測昆蟲於田園中之移動，將來可作為昆蟲棲息地衛星和航空影像的參考資料。Hansen 等人 (1988) 也曾應用聲學技術檢測木瓜內的東方果實蠅幼蟲。計數時最直接方法是計數族群中每一個體，例如用遙測的方式計數所有移動中的東方果實蠅，但是這種總數量調查的方式，目前適用範圍仍然有限。最常用的仍是計數抽樣樣本中全部之個體，然後以其平均數來推估族群的總數。抽樣必須以隨機的方式進行，並用數理統計法來計算其誤差和顯著性，以確保樣本具有代表性。

結語

目前生態學上包括族群、棲地及地景等調查研究，常常導入空間異質性的概念進行分析；探討昆蟲族群之空間分布時，則可透過許多軟體做空間模式的檢測、鑑定空間模式之影響因子及產生模式導向式模型。應用直接推估族群密度、族群模型、細胞自動機數學演算法、地理資訊系統及遙測等技術於生態研究時，基本的田間計數資訊仍是不可或缺的。在蟲數調查上，不管選擇何種抽樣方法，誘蟲器仍會是蟲數計數上必要的資材。國內包括農業試驗所在內的研究團隊已成功應用自動的方式計數東方果實蠅，並呈現極高之時間解析度 (每 30 分鐘 1 筆)，相信這項技術未來還有很多發揮應用的空間，有助於瞭解東方果實蠅生態，進一步增加防治的效果，且讓我們拭目以待。

參考文獻

呂秀英。1997。作物模式化的意義及展望。台灣農業雙月刊，33(3)：95-114。

孫儒泳、李博、諸葛陽、尚玉昌。1997。普通生態學。藝軒圖書出版社，p.61-65。

劉添丁、黃金助、林信山。1996。番石榴果實防治東方果實蠅可行性之評估。臺中區農業改良場研究彙報，50：61-71。

Binns M. R. and J. P. Nyrop 1992. Sampling insect polulations for the purpose of IPM decision making. Annu. Rev. Entomol. 37: 427-453.

Hansen, J. D., J. C. Webb, J. W. Armstrong, and S. A. Brown. 1988. Acoustical detection of oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) larvae in papaya. J. Econ. Entomol. 81: 963-965.

Liu J. H., W. Shi, and Y. Hui. 2007. Population genetics analysis of the origin of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae), in northern Yunnan Province, China. Entomol. Sci. 10: 11-19.

Petrovskii S., D. Bearup, D. A. Ahmed, and R. Blackshaw. 2012. Estimating insect population density from trap counts. Ecol. Compl.10: 69-82.

Reynolds D. R. and J. R. Riley. 2002. Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: a survey of existing and potential techniques. Comput. Electron. Agric. 35: 271-307.

Shelly T. E. and J. Edu. 2010. Mark-release-recapture of males of *Bactrocera cucurbitae* and *B. dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in two residential areas of Honolulu. J. Asia Pac. Entomol.13: 131-137.

Vinatier F., P. Tixier, P. F. Duyck, and F. Lescourret. 2011. Factors and mechanisms explaining spatial heterogeneity: a review of methods for insect populations. Methods Ecol. Evol. 2: 11-22.